

定点黒体炉の実効開口径推定方法の検討

佐藤 弘康 加藤 知則 (日本電気計器検定所 標準部)

1. はじめに

放射温度計校正用定点黒体炉の比較校正は、同じ種類の定点金属を用いた定点黒体炉を2台、すなわち標準器と校正品を並べて設置し、それぞれの凝固点を実現させたときの温度差を単色放射温度計で測定する。もし2台の定点黒体炉の開口径が異なる場合、放射温度計の面積効果の補正が必要となる。面積効果とは、放射源サイズが変化すると放射温度計の出力もわずかに変化する現象で、レンズの汚れや光学系の収差、鏡筒内の光の散乱等が原因とされている^{(1)~(6)}。

実効開口径とは、定点黒体炉の設計上の開口径ではなく、放射源として熱エネルギーを放出する口径のことをいう。定点黒体炉には直径約6 mmの絞りが内蔵されているが、黒体炉の温度が高くなると絞りも熱エネルギーを発するようになるため、見かけの放射源サイズは絞りの直径より大きくなる。面積効果はそのような実効開口径で補正されるべきである。

本稿では、定点黒体炉の実効開口径の推定方法について検討を行ったので報告する。

2. 視野欠け量と放射温度計出力の推定

一般的に実効開口径の直径を計る場合、黒体炉開口に対して放射温度計を並行移動させながら温度を測定し、そのプロファイルから大きさを推定する⁽⁷⁾。黒体炉開口に対して放射温度計測定視野が十分に小さい場合は問題ないが、定点黒体炉のように開口径が視野の2倍程度しかない場合は放射温度計の視野欠けの影響が顕著となり正確な温度測定できない(図1)。この影響量は欠けた面積に比例するため、その面積分の減光量を補正すれば元の温度の推定は可能になるはずである。その視野欠けは図2の三日月状の領域ADBであり、その面積は2円の中心間距離を x としたとき式(1)で表される。更に、視野欠けを生じさせる遮蔽体の透過率が τ で与えられる場合、その放射温度計出力 S は式(2)と等価になるはずである。透過率が段階的に減少していく3重の円形遮蔽体が存在する場合は、式(3)で表せる。この式に適切なパラメータを与えれば放射温度計の出力が予想できることになる。計算値と実測値を比較したところ両者はよく一致し、計算は正しいことを確認している⁽⁸⁾。

3. 実際の定点黒体炉との比較

より実際に近い例として、3重の遮蔽体が存在する場合を想定し、そのパラメータは次のように設定した。

遮蔽体1 (R_1, τ_1)

遮蔽体2 (R_2, τ_2)

遮蔽体3 (R_3, τ_3)

パラメータは(遮蔽体の直径、透過率)を表す。ただし、 $R_1 < R_2 < R_3$ 、 $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$ とする。

実測した定点黒体炉の温度分布に対して、計算結果が一致するようパラメータを調整したものが図3である。そのときの値は次のとおりである。

遮蔽体1 (6 mm, 0.6)

遮蔽体2 (12 mm, 0.25)

遮蔽体3 (16 mm, 0.02)

4. 面積効果補正量の推定

単色放射温度計の面積効果の大きさは別途評価したデータを用いる⁽⁹⁾。面積効果は、ある大きさの開口直径 D_1 に対し、それより大きい直径 D_2 のときの放射温度計出力の増加率で表される。これを $SSE(D_1, D_2)$ と表記することとする。

直径 D_1 と D_2 の間に透過率 τ_1 の遮蔽体が存在する場合、光量は通常の τ_1 倍となることから、その面積効果増加率は $\tau_1 \times SSE(D_1, D_2)$ になる。前述の計算結果をこれに当てはめると、その面積効果増加率は

$$SSE = 0.6 \times SSE(6, 12) + 0.25 \times SSE(12, 16) + 0.02 \times SSE(16, 30)$$

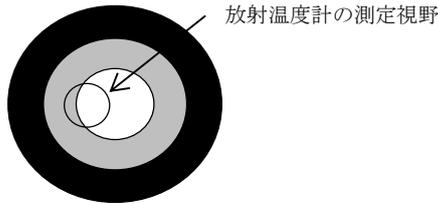
となる。遮蔽体3の幅は、放射温度計を移動させて測定した最大距離の30 mmとした。事前評価した単色放射温度計の面積効果を代入して計算すると上式の結果は

$$SSE = 0.0298 (\%)$$

となった。この値はおおよそ直径8.8 mmの開口径に相当し、設計上の直径6 mmより2.8 mm大きいことになる。

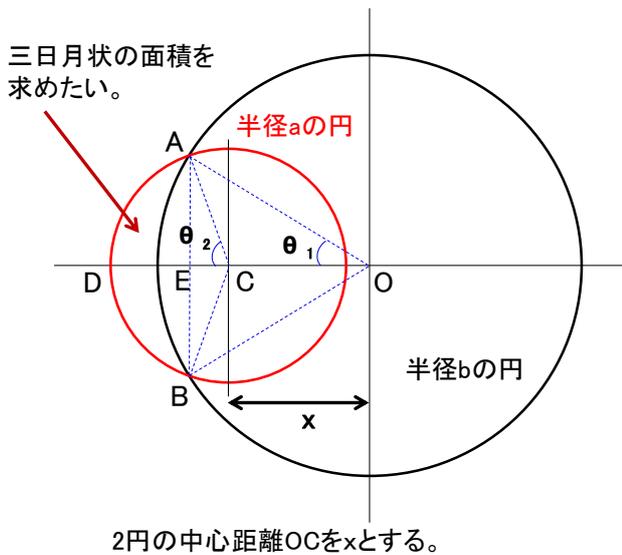
5. おわりに

段階的な透過率をもつ複数の遮蔽体を想定した計算手法により、実効開口径の推定を試みた。更なる検証は必要であるが、定点黒体炉の校正において実効開口径による面積効果を補正することで、より正確な定点温度の標準供給が期待できる。



温度分布を測定する対象のサイズが小さいとき、放射温度計の視野欠けの影響が大きい。

図1 放射温度計の視野欠け



2円の中心距離OCをxとする。

図2 視野欠け領域(ADB)

$$S_1 = a^2\theta_2 - b^2\theta_1 + xb \sin \theta_1 \quad \text{式(1)}$$

ただし $\cos \theta_1 = \frac{1}{b} \left(x + \frac{b^2 - a^2 - x^2}{2x} \right)$

$$\cos \theta_2 = \frac{1}{2ax} (b^2 - a^2 - x^2)$$

$$S = 1 - \frac{1}{\pi a^2} (1 - \tau) S_1 = \left\{ 1 - \frac{1}{\pi a^2} (1 - \tau) \right\} (a^2\theta_2 - b^2\theta_1 + xb \sin \theta_1) \quad \text{式(2)}$$

$$S = 1 - \frac{1}{\pi a^2} \{ (1 - \tau_1) S_1 + (\tau_1 - \tau_2) S_2 + (\tau_2 - \tau_3) S_3 \} \quad \text{式(3)}$$

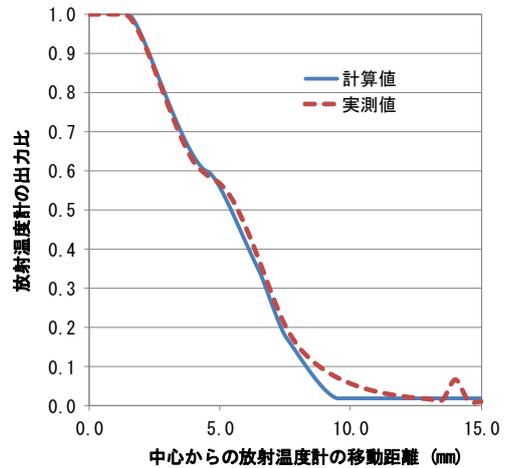


図3 放射温度計出力の計算

参考文献

- (1) L. Ma, F. Sakuma: "Improvement of size of source effect measurement of standard radiation thermometers", Proc. SICE 2007, pp1743-1748 (2007)
- (2) Z. M. Zhang, B. K. Tsai, G. Machin: "Radiometric temperature measurements 1. Fundamentals", Academic press (2010)
- (3) J. Fischer, P. Saunders, M. Sadli, et al.: "Uncertainty budgets for calibration of radiation thermometers below the silver point", CCT-WG5 on radiation thermometry, Ver. 1.71 (2008)
- (4) H. Yoon, P. Saunders, G. Machin: "Supplementary information for the ITS-90 Section 6: Radiation thermometry", BIPM CCT publications, in Guide to the realization of the ITS-90.
- (5) H. Yoon, D. Allen, R. Saunders: "Methods to reduce the size-of-source effect in radiometers", Metrologia, 42, pp89-96 (2005)
- (6) D. P. Dewitt, G. D. Nutter: "Theory and practice of radiation thermometry", Wiley (1988)
- (7) Y. Yamada, Y. Wang, Y. Shimizu, & K. Minahiro: "Size-of-source-effect correction for radiation thermometers calibrated by fixed-point blackbodies", Proc. SICE 2013, pp389-394 (2013)
- (8) H. Sato, T. Kato: "Study on a method for determining the effective aperture size of fixed-point blackbodies", the 34th Sensing forum, IC2-1(2017)
- (9) H. Sato: "Development of an automatic size-of-source effect measurement system for monochromatic radiation thermometers", 電気学会計測研究会, IM-16-022 (2016)

(2018年6月1日受付)